

Cambios estructurales y funcionales del ventrículo derecho en deportistas de alto rendimiento evaluados por ecocardiografía con *strain* por *speckle tracking*

José Werenitzky¹, Álvaro Carranza¹, Augusto J. Lépori¹, Fernando J. Daghero², Matías H. Clavero², Marcelo F. Urinovsky², Miguel A. Tibaldi³

Introducción. El entrenamiento físico intenso se asocia a cambios cardíacos estructurales tanto del ventrículo izquierdo como del ventrículo derecho (VD). Sin embargo, no hay estudios en atletas argentinos que valoren con técnicas ecocardiográficas actuales dichos cambios, con el fin de reconocer precozmente aquellos que presentan dilataciones o hipertrofias patológicas que puedan asociarse a aumento del riesgo de muerte súbita.

Objetivo. Evaluar la anatomía, función y comportamiento del VD en deportistas que realizan actividades isométricas o estáticas (GE), isotónicas o dinámicas (GD) y compararlo con pacientes controles no deportistas (GC).

Materiales y métodos. Se realizó un ecocardiograma transtorácico, evaluando principalmente el VD a través del TAPSE, los diámetros diastólicos y sistólicos, el Doppler tisular (DTI), y el *strain* y *strain rate* por *speckle tracking*.

Resultados. Incluimos 117 pacientes, 11 en GE, 56 en GD, y 50 controles. En los deportistas el acortamiento longitudinal con *strain rate* a nivel apical y basal, el diámetro diastólico apical y basal, el diámetro sistólico basal, las ondas S, E y A a nivel basal de la pared libre del VD por DTI, y las ondas S y E a nivel medio de la pared libre del VD por DTI mostraron diferencias significativas, con valores mayores en el grupo de deportistas tanto estáticos como dinámicos.

Conclusión. Nuestro estudio demostró que los diámetros mayores del VD en los deportistas sanos se asocian a aumento de la deformación miocárdica medida por DTI y a través del acortamiento longitudinal del *strain*.

Insuf Card 2016; 11(3): 109-114

Palabras clave: Ecocardiografía Doppler - Ventrículo derecho - Doppler tisular - *Strain rate* - *Speckle tracking* - Deporte

Summary

Structural and functional changes of right ventricle in highly trained athletes evaluated by echocardiography by speckle tracking strain

Introduction. The intense physical training is associated with cardiac structural changes in both the left ventricle and the right ventricle (RV). However, no studies in Argentine athletes who value with current echocardiographic techniques such changes, in order to recognize early those with dilations or pathological hypertrophy that may be

¹Médico residente. Servicio de Cardiología. Sanatorio Allende. Córdoba. Córdoba. República Argentina.

²Médico cardiólogo. Servicio de Cardiología. Sanatorio Allende. Córdoba. Córdoba. República Argentina.

³Médico cardiólogo. Jefe del Servicio de Cardiología. Sanatorio Allende. Córdoba. Córdoba. República Argentina.

Institución: Sanatorio Allende. Córdoba (Capital). Provincia de Córdoba. República Argentina.

Correspondencia: Dr. José Werenitzky.

Obispo Oro 42, Piso 2º (Servicio de Cardiología). Córdoba (Capital). Provincia de Córdoba. República Argentina. CP X5000BFB.

E-mail: josewerenitzky@gmail.com Teléfono: +543513190090 Fax: +543514269209

Recibido: 04/03/2016

Aceptado: 20/06/2016

Insuf Card 2016; 11 (3): 109-114

Disponible en <http://www.insuficienciacardiaca.org>

associated with increased risk of sudden death.

Objective. Evaluate the anatomy, function and behavior of RV in athletes who perform isometric or static (SG), isotonic or dynamic activities (DG) and compared with control patients non-athletes (CG).

Materials and methods. Each patient underwent transthoracic echocardiography, evaluating primarily the RV through TAPSE, the diastolic and systolic diameters, Doppler tissue imaging (DTI), and the strain and strain rate by speckle tracking.

Results. We included 117 patients, 11 in SG, 56 in DG, and 50 controls. In athletes the longitudinal shortening with strain rate at apical and basal level, the diastolic diameter apical and basal systolic diameter baseline, the S, E and A waves at baseline of the RV free wall by DTI, and waves S and E at the middle level of the RV free wall by DTI showed significant differences, with higher values in the group of both static and dynamic athletes.

Conclusion. Our study showed that the largest diameters of RV in healthy athletes are associated with increased myocardial deformation measured by DTI and through the longitudinal shortening strain.

Keywords: Doppler echocardiography - Right ventricle - Doppler tissue - Strain rate - Speckle tracking - Sports

Resumo

Alterações estruturais e funcionais do ventrículo direito em atletas altamente treinados avaliados por ecocardiografia com strain por speckle tracking

Introdução. O treinamento físico intenso está associado a alterações estruturais cardíacas, tanto no ventrículo esquerdo e do ventrículo direito (VD). No entanto, não existem estudos em atletas argentinos que valorizam com técnicas de ecocardiografia atuais tais mudanças, a fim de reconhecer cedo aqueles com dilatações ou hipertrofia patológica que pode estar associado ao aumento do risco de morte súbita.

Objetivo. Avaliar a anatomia, função e comportamento do VD em atletas que realizam atividades isométricas ou estáticas (GE), isotônicas ou dinâmicas (GD) e em comparação com pacientes de controle não-atletas (GC).

Materiais e métodos. Cada paciente foi submetido a uma ecocardiografia transtorácica, avaliando principalmente o RV através do TAPSE, os diâmetros diastólicos e sistólicos, o Doppler tecidual (DTI), e o strain e strain rate por speckle tracking.

Resultados. Foram incluídos 117 pacientes, 11 no GE, 56 no GD, e 50 controles. Em os atletas o encurtamento longitudinal com strain rate a nível apical e basal, o diâmetro diastólico apical e basal, o diâmetro sistólico basal, as ondas S, E e A na níveis basal da parede livre do VD pelo DTI, e ondas S e E no nível médio da parede livre do VD por DTI apresentou diferenças significativas, com valores mais elevados no grupo de ambos os atletas estáticas e dinâmicas.

Conclusão. Nosso estudo mostrou que os maiores diâmetros de VD em atletas saudáveis são associados com aumento da deformação miocárdica medida pelo DTI e através do encurtamento longitudinal do strain.

Palavras-chave: Doppler ecocardiografia - Ventrículo direito - Doppler tecidual - Strain rate - Speckle tracking - Esportes

Introducción

El entrenamiento físico intenso y sostenido, como el desarrollado por los atletas de alto rendimiento, puede asociarse a cambios eléctricos, estructurales y funcionales del miocardio, con el consiguiente aumento de los volúmenes de las 4 cavidades cardíacas, del espesor parietal y de la masa ventricular, denominado habitualmente como “corazón de atleta”¹⁻³.

Ya en 1975, Morganroth y col. describieron que las adaptaciones miocárdicas dependen principalmente del tipo de ejercicio realizado, ya que los cambios de los pacientes que realizan ejercicios isotónicos son diferentes de los que realizan ejercicios isométricos; si bien existen grupos de trabajo que rechazan dicha hipótesis⁴⁻⁶.

Además de los factores hemodinámicos, los cambios dependen de la genética, del medio neurohumoral, de la edad, el sexo, la raza, y más importante aún de la superficie corporal de los deportistas, la cual aumenta en los atletas

entrenados y normalizaría los diámetros ventriculares si son ajustados a la misma, teoría que abarca el ya mencionado “corazón de atleta”^{1,3}.

Los cambios en el ventrículo derecho (VD) han sido menos estudiados, ya que su morfología es compleja, y la ventana acústica, debido a su posición retroesternal, lo hace menos accesible que el ventrículo izquierdo (VI). Sin embargo, existen trabajos que han demostrado dilatación leve y aumento de la masa tanto de la aurícula como del VD^{1,3}.

La tecnología ecocardiográfica actual, como el Doppler tisular (DTI), la valoración del strain mediante la técnica de speckle tracking, y la ecocardiografía 3D, facilitan el análisis de los pacientes con alteraciones de las cavidades cardíacas, siendo una herramienta útil para el análisis de estos deportistas. Sin embargo, no existen estudios argentinos que evalúen, con la tecnología disponible, el VD en deportistas de alto rendimiento, ya sean isotónicos o isométricos. Es por ello que nos planteamos como objetivo evaluar la anatomía, función y comportamiento del VD

en atletas argentinos de alto rendimiento. A su vez, y de manera secundaria, comparamos dichos hallazgos con pacientes de edad semejante, pero sin actividad física regular; y realizamos, debido a que se incluyeron pacientes que realizaban tanto ejercicios isotónicos como isométricos, una evaluación comparativa de diferencias en la anatomía del VD entre los atletas de las diferentes disciplinas.

Materiales y métodos

Estudio observacional, descriptivo y de corte transversal, realizado en atletas desde Marzo a Octubre de 2014, que tenían entre 18 y 50 años de edad, y se encontraban haciendo actividades físicas que requerían al menos 7 horas semanales de entrenamiento por al menos 2 años previo a la consulta, similar a otros estudios de deportistas evaluados³. Se los subdividió en dos grupos, uno de ellos integrado por aquellos que realizaban deportes en los que predominara la actividad aeróbica denominado grupo dinámicos (GD), y el otro por los que hacían ejercicio fundamentalmente anaeróbico o de fuerza llamado grupo estáticos (GE). Como grupo control (GC) se incluyó a personas sanas, de edad similar, pero que no cumplieran los criterios antes mencionados.

Se excluyó a pacientes que no realizaron deporte en los 15 días previos a su evaluación y a quienes tenían historia previa de patologías, ya sea cardiovasculares o sistémica como: miocardiopatía hipertrófica, valvulopatías izquierdas o derechas moderadas o severas, enfermedad pulmonar con repercusión evolutiva en la anatomía del VD (asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, enfermedades intersticiales, etc.), y cardiopatías congénitas.

A todos los pacientes se les realizó un ecocardiograma Doppler transtorácico, utilizando un ecocardiógrafo Phillips IE33® con transductor de 1,7 MHz. Se obtuvieron imágenes desde vistas paraesternal izquierda eje largo y eje corto, apicales de 4, 2, y 5 cámaras, y desde apical con foco en el VD, según lo establecido en las guías de la Sociedad Americana de Ecocardiografía⁷. La función del VD se evaluó mediante el TAPSE (*tricuspid annular plane systolic*) o desplazamiento sistólico del anillo tricuspídeo, el DTI del anillo tricuspídeo a nivel de la pared libre donde se analizó la onda correspondiente a la sístole ventricular (onda S) y las correspondientes a la diástole (ondas e' y a'), el patrón de Doppler pulsado tricuspídeo mediante el análisis de las ondas E y A, el *strain* longitudinal y *strain*

rate del VD por técnica de *speckle tracking*. Se dividió al VD en 3 segmentos, apical, medio y basal, donde se tomaron las medidas de los diámetros sistólicos (DS), diámetros diastólicos (DD), y el DTI^{8,9}. Además, si bien no es el objetivo de este trabajo, se obtuvieron mediciones de los diámetros diastólicos y sistólicos, masa, y *strain* longitudinal del VI, para comparar los valores con los del VD. El borde endocárdico se trazaba de manera automática en cada imagen de cuatro cámaras con foco en el VD en fin de diástole, habiendo sido en todos los casos verificado en tiempo real y corregido ajustando las regiones de interés de manera manual. El programa calculaba el valor del *strain* longitudinal segmentario y global de manera automática, tomándose como valores normales los enunciados por Fine⁹ y col.

Las imágenes ecocardiográficas adquiridas fueron luego procesadas mediante el programa QLab® 9, de Phillips *Ultrasound*.

Método estadístico

Para variables continuas, los datos se expresaron como media (\pm desvío estándar) y para variables categóricas como valores absolutos y porcentajes según correspondiese. Para realizar las comparaciones entre las medias de las 3 poblaciones analizadas, se utilizó el análisis de Varianza (ANOVA) y el test de Tukey, y cuando se comparó a 2 poblaciones entre sí, se utilizó el test t de Student. Para analizar la relación entre las variables dentro de un mismo grupo se hizo un análisis de regresión lineal. Valores de $p < 0,05$ se consideraron como estadísticamente significativos. Los cálculos estadísticos se realizaron con el programa estadístico Infostat versión 2.0.

Los autores poseen acceso completo a los datos y toman la responsabilidad de su integridad. Todos los autores han leído y acuerdan con el manuscrito que a continuación se reporta.

Resultados

Se incluyeron a 117 pacientes, de los cuales el 42% (50/117) pertenecieron al GC, el 48% (56/117) al GD, y el 10% (11/117) al GE. La edad media de los pacientes fue 31 ± 10 años, y el sexo predominante era el masculino con 99 (85%) pacientes. El resto de las características basales se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características basales de la población

	GC	GE	GD	p
Pacientes	50	11	56	
Hombres (%)	80	82	89	
Edad	32 (\pm 8)	29 (\pm 9)	29,3 (\pm 11,8)	NS
IMC	25 (\pm 3,3)	26 (\pm 3)	23,7 (\pm 3,7)	NS
Entrenamiento semanal (hs)	3 (\pm 1,7)	9 (\pm 2)	15,1 (\pm 6,9)	<0,0001

GC: grupo control. GE: grupo estáticos. GD: grupo dinámicos. IMC: índice de masa corporal. hs: horas.

Tabla 2. Hallazgos ecocardiográficos bidimensionales y en modo M del ventrículo derecho

	GC	GE	GD	p
TAPSE	19,5 ± 3	20 ± 3,8	20,5 ± 3,4	NS
Strain longitudinal del VD				
SLS VD Apical	-19,84 ± 7	-32,2 ± 6,6	-31,7 ± 5,3	<0,0001
SLS VD Medio	-26,3 ± 9	-29,5 ± 4,4	-26,1 ± 6	NS
SLS VD Basal	-29 ± 7	-23,3 ± 6,4	-22,1 ± 5,9	<0,0001
Diámetros diastólicos ventriculares				
DD Apical	13,3 ± 3	17 ± 4,2	16,1 ± 5,42	0,0023
DD Medio	25,7 ± 5	28,4 ± 7,6	27,1 ± 4,6	NS
DD Basal	35,8 ± 6	34,1 ± 7,9	34,8 ± 5,7	NS
Diámetros sistólicos ventriculares				
DS Apical	9,8 ± 4	11,4 ± 3,2	10,6 ± 3,6	NS
DS Medio	20,4 ± 4	18,3 ± 6	19,3 ± 4,4	NS
DS Basal	31 ± 7	24,4 ± 6,2	27,3 ± 4,8	0,0008

GC: grupo control. GE: grupo estáticos. GD: grupo dinámicos. TAPSE: desplazamiento sistólico del anillo tricuspídeo. SLS VD: *strain* longitudinal del ventrículo derecho. DD: diámetro diastólico. DS: diámetro sistólico.

Dentro del GD, el 40% (22/56) realizaba maratón, el 35% (20/56) triatlón, el 10% (6/56) natación, el 5% (3/56) atletismo, el 4% (2/56) ciclismo, habiendo además 1 paciente que practicaba fútbol, 1 Jiu jitsu y 1 tenis. Dentro del GE todos eran físico-culturistas.

En el análisis de las horas semanales de actividad física pudimos observar que el GD presentaba más horas de entrenamiento que los pacientes del GE y GC (15,1 ± 6,9 vs 9 ± 2 vs 3 ± 1,7; $p < 0,0001$).

En el análisis bidimensional del VD, no hubo deportistas ni controles que presentaran hipertrofia o deterioro de la fracción de eyección del mismo.

Existió una diferencia significativa entre los deportistas y los pacientes del GC, pero no entre deportes dinámicos o estáticos, en el diámetro diastólico a nivel apical ($p < 0,0023$) y el sistólico a nivel basal ($p < 0,0008$).

En el análisis del DTI (Tabla 3), se observó a nivel apical y medio valores significativamente mayores en las ondas

S y menores en las ondas E y A en los pacientes del GD con respecto a los otros 2 grupos de pacientes, no encontrándose dicha diferencia a nivel basal. La excepción se produjo en la onda A a nivel medio, la cual no presentó diferencia entre los grupos.

Al valorarse el acortamiento longitudinal con el *strain rate* (SLS) del VD tanto a nivel apical como basal en los grupos con entrenamiento de alto rendimiento, se obtuvieron valores significativamente más elevados que los hallados en el GC, como puede observarse en la Tabla 2. Con respecto al análisis del VI, se obtuvo un diámetro diastólico promedio significativamente menor en el GC (4,85 ± 0,39 cm) con respecto al GE (5,48 ± 0,53 cm) y GD (5,36 ± 0,49 cm) con un valor de $p < 0,0001$. Con respecto al diámetro sistólico se obtuvieron en el GC, GE y GD valores de 3,02 ± 0,34 cm, 3,21 ± 0,45 cm y 3,31 ± 0,37 cm, respectivamente; siendo aquellos del GD los que presentan una masa mayor con respecto a los del GC

Tabla 3. Análisis del Doppler tisular (DTI) sobre diferentes segmentos de la pared libre del ventrículo derecho

	GC	GE	GD	p
DTI Apical S	2,34 ± 1	3 ± 1,8	3,5 ± 1,7	0,0006
DTI Apical E	-3,2 ± 2	-3 ± 1,5	-4,7 ± 3,1	0,0003
DTI Apical A	-2 ± 1	-2,1 ± 1,1	-3,1 ± 2,3	0,006
DTI Medio S	4,3 ± 2	4,7 ± 1,6	5,4 ± 1,6	0,005
DTI Medio E	-5,1 ± 2	-5,3 ± 1,8	-6,2 ± 2,1	0,014
DTI Medio A	-3,8 ± 2	-4,8 ± 1,4	-4,5 ± 2,8	NS
DTI Basal S	5,9 ± 3	6 ± 1	6,8 ± 1,2	NS
DTI Basal E	-6,7 ± 2	-6,7 ± 1,6	-6,9 ± 2,8	NS
DTI Basal A	-5 ± 2	-4,1 ± 3	-4,3 ± 2,5	NS

Valores de DTI expresados en cm/s.

GC: grupo control. GE: grupo estáticos. GD: grupo dinámicos. S: sístole ventricular. E: diástole precoz ventricular. A: contracción auricular en telediástole.

($p=0,0007$). La masa del VI fue de $138,92 \pm 31,28$ g en el GC, $177 \pm 55,37$ g en el GE, y $173,49 \pm 40,27$ en el GD con una diferencia significativa entre los deportistas vs no deportistas ($p<0,0001$). La fracción de eyección y el *strain* longitudinal del VI se encontraban dentro de valores normales en todos los grupos, sin diferencias significativas entre los mismos.

Discusión

La falta de obligatoriedad de controles médicos previo a las actividades deportivas en nuestro medio nos impulsó a realizar este estudio con el afán de comunicar los cambios producidos por los deportes de alto rendimiento sobre el VD, para lograr así un mayor entendimiento de la importancia de evaluar a los pacientes adecuadamente tanto al inicio de este tipo de entrenamiento como durante el seguimiento, y de esta manera continuar el análisis, separando precozmente aquellos deportistas que presentan “corazón de atleta” de los que hayan desarrollado hipertrofias ventriculares importantes o miocardiopatías dilatadas¹. En nuestro trabajo, se demostró que los pacientes que practican deportes de alto rendimiento presentan cambios estructurales en el VD, demostrado por diámetros mayores, análisis del DTI con ondas de mayor magnitud respecto a los controles, y acortamiento longitudinal mayor medido a través del SLS.

Esto se explica debido a que el estrés impuesto a la fibra miocárdica genera cambios en la ultraestructura, que varían dependiendo del tipo de actividad física que realiza el deportista; hecho demostrado en un trabajo en el que los deportistas del GD presentaban mayores volúmenes diastólicos en ambos ventrículos, y mayor masa y deformación sistólica del VI⁵.

Los cambios en los diámetros ventriculares de los deportistas se deben por un lado al estrés parietal que genera la demanda de oxígeno con el consiguiente aumento del trabajo miocárdico, y por el otro, debido al aumento de las presiones tanto sistémicas como pulmonares que acompañan a las actividades físicas sostenidas en tiempo y duración^{3,10,11}. Además, es propuesta una sobrecarga de volumen crónica y repetitiva en los deportistas de alto rendimiento, hecho que, agregado a lo explicado anteriormente, ayuda a entender el hecho de que presenten diámetros y volúmenes mayores que los no deportistas^{6,12}. Sin embargo, a diferencia de otros grupos de trabajo^{5,12}, nosotros no encontramos diferencias significativas entre los distintos tipos de deportistas, sino que la diferencia se produjo entre ellos y los pacientes del GC, probablemente debido a la variabilidad de deportes practicados en los pacientes del GD.

De acuerdo a lo esperado, no encontramos alteraciones negativas en los deportistas frente al GC respecto a la función sistólica y diastólica del VD, hecho que frecuentemente acompaña a las dilataciones y deterioros de ambas funciones que se producen secundariamente a *cor pulmonale*, hipertensión pulmonar, o infartos de las cavidades

derechas^{3,13}. De manera contrapuesta, en los deportistas se postula un llenado diastólico más eficiente en reposo, hecho que también fue demostrado en nuestro estudio en el análisis del DTI del VD^{5,12,14}.

Es relevante además entender que los cambios que se producen en el VD (dilatación, aumento del espesor parietal y la masa) suelen acompañar a cambios de similar intensidad en el VI, como los observados en nuestro trabajo, produciendo así que el *ratio* de diámetros tanto auriculares como ventriculares izquierdos y derechos no se modifique, señal que la carga hemodinámica se produce de manera simétrica durante la actividad física^{12,13,15}.

Esto además es importante, ya que dilataciones aisladas del VD pueden encontrarse en condiciones patológicas, como por ejemplo la displasia arritmogénica del VD que puede llegar a representar hasta el 3% de las causas de muerte súbita en deportistas jóvenes, las cuales afectan aproximadamente a 1:50000 a 80000 atletas, y que identificadas precozmente benefician a los pacientes debido a la instauración precoz de tratamiento médico o eléctrico adecuado para la prevención de esta nefasta entidad¹⁶⁻¹⁹. Existen además casos de fallas del VD que siguen a la realización de ejercicios de resistencia de larga duración, que se comportan de manera similar a condiciones proarrítmicas del mismo, y se han propuesto como factores predisponentes al desacondicionamiento físico, a las repeticiones constantes de ejercicios de esta índole, y a deportes amateur sin entrenamiento adecuado (ej. maratones). Además, la repetitividad del ejercicio puede llevar a recuperación incompleta del VD, favoreciendo cambios cicatrizales del mismo, y predisponiendo así a falla cardíaca y arritmias complejas¹¹.

Las nuevas técnicas ecocardiográficas nos permitieron identificar que los cambios encontrados tanto en los diámetros y masa se acompañan de mejorías tanto del acortamiento longitudinal como de aumento de las velocidades tisulares sistólicas y diastólicas en el DTI, hecho que habla a favor de diámetros aumentados secundarios a la sobrecarga de presión y volumen expuesta previamente, pero asociada a mejor contractilidad para lograr un gasto cardíaco acorde a las necesidades durante la actividad deportiva.

Como limitaciones de nuestro trabajo, encontramos en primer lugar la variabilidad de deportes practicados en los atletas incluidos en el GD, hecho que creemos produjo la falta de diferencia en los parámetros ecocardiográficos evaluados entre ambos grupos de deportistas. Segundo, con el número de pacientes evaluados no es posible realizar recomendaciones poblacionales; sin embargo, existió similitud con los otros trabajos que evaluaron la anatomía y función del VD en deportistas.

Conclusión

En este trabajo, demostramos que los deportistas, sin importar el tipo de ejercicio que realicen, presentan diámetros ventriculares derechos mayores que aquellos pacientes de

edad similar, pero que no practican este tipo de actividad física. Además encontramos que estos cambios se asocian a aumento de la deformación longitudinal medida a través de *strain* por técnica de *speckle tracking* y de la magnitud de las ondas del DTI en la región basal de la pared libre del VD.

Agradecimientos

Agradecemos al Dr. Leandro Pedro Marani y a la Dra. María Luciana Ramia, por su ayuda en la realización de este estudio, tanto por la toma de imágenes ecocardiográficas como por su colaboración en el reclutamiento de pacientes.

Recursos financieros

Los autores no recibieron ningún apoyo económico para la investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declararon no tener conflicto de intereses.

Referencias bibliográficas

1. Barbier J, Ville N, Kervio G, Walther G, Carré F. Sports-specific features of athlete's heart and their relation to echocardiographic parameters. *Herz* 2006;31(6):531-543. doi:10.1007/s00059-006-2862-2.
2. Abernethy WB, Choo JK, Hutter AM. Echocardiographic characteristics of professional football players. *J Am Coll Cardiol* 2003;41(2):280-284. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12535823>. Accessed March 29, 2016.
3. Erol MK, Karakelleoglu S. Assessment of right heart function in the athlete's heart. *Heart Vessels* 2002;16(5):175-180. doi:10.1007/s003800200018.
4. Morganroth J, Maron BJ, Henry WL, Epstein SE. Comparative left ventricular dimensions in trained athletes. *Ann Intern Med* 1975;82(4):521-524. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1119766>. Accessed February 24, 2016.
5. Vitarelli A, Capotosto L, Placanica G, et al. Comprehensive assessment of biventricular function and aortic stiffness in athletes with different forms of training by three-dimensional echocardiography and strain imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013;14(10):1010-1020. doi:10.1093/ehjci/jes298.
6. Naylor LH, George K, O'Driscoll G, Green DJ. The athlete's heart: a contemporary appraisal of the "Morganroth hypothesis". *Sports Med* 2008;38(1):69-90. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18081368>. Accessed April 2, 2016.
7. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015;16(3):233-270. doi:10.1093/ehjci/jev014.
8. Pellerin D, Sharma R, Elliott P, Veyrat C. Tissue Doppler, strain, and strain rate echocardiography for the assessment of left and right systolic ventricular function. *Heart* 2003;89 Suppl 3:iii9-iii17. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1876304&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
9. Fine NM, Shah AA, Han I-Y, et al. Left and right ventricular strain and strain rate measurement in normal adults using velocity vector imaging: an assessment of reference values and intersystem agreement. *Int J Cardiovasc Imaging* 2013;29(3):571-580. doi:10.1007/s10554-012-0120-7.
10. La Gerche A, Heibüchel H, Burns AT, et al. Disproportionate exercise load and remodeling of the athlete's right ventricle. *Med Sci Sports Exerc* 2011;43(6):974-981. doi:10.1249/MSS.0b013e31820607a3.
11. La Gerche A, Burns AT, Mooney DJ, et al. Exercise-induced right ventricular dysfunction and structural remodeling in endurance athletes. *Eur Heart J* 2012;33(8):998-1006. doi:10.1093/eurheartj/ehr397.
12. Utomi V, Oxborough D, Whyte GP, et al. Systematic review and meta-analysis of training mode, imaging modality and body size influences on the morphology and function of the male athlete's heart. *Heart* 2013;99(23):1727-1733. doi:10.1136/heartjnl-2012-303465.
13. Hauser AM, Dressendorfer RH, Vos M, Hashimoto T, Gordon S, Timmis GC. Symmetric cardiac enlargement in highly trained endurance athletes: a two-dimensional echocardiographic study. *Am Heart J* 1985;109(5 Pt 1):1038-1044. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3158184>.
14. D'Andrea A, Caso P, Sarubbi B, et al. Right ventricular myocardial adaptation to different training protocols in top-level athletes. *Echocardiography* 2003;20(4):329-336. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12848876>.
15. D'Andrea A, Caso P, Scarafile R, et al. Biventricular myocardial adaptation to different training protocols in competitive master athletes. *Int J Cardiol* 2007;115(3):342-349. doi:10.1016/j.ijcard.2006.03.041.
16. Corrado D, Basso C, Rizzoli G, Schiavon M, Thiene G. Does sports activity enhance the risk of sudden death in adolescents and young adults? *J Am Coll Cardiol* 2003;42(11):1959-1963. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14662259>.
17. Maron BJ, Shirani J, Poliac LC, Mathenge R, Roberts WC, Mueller FO. Sudden death in young competitive athletes. Clinical, demographic, and pathological profiles. *JAMA* 1996;276(3):199-204. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8667563>.
18. Maron BJ. Sudden death in young athletes. *N Engl J Med* 2003;349(11):1064-1075. doi:10.1056/NEJMra022783.
19. Harmon KG, Drezner JA, Wilson MG, Sharma S. Incidence of sudden cardiac death in athletes: a state-of-the-art review. *Heart* 2014;100(16):1227-1234. doi:10.1136/heartjnl-2014-093872.rep.